

### **III. Geometrische Optik**

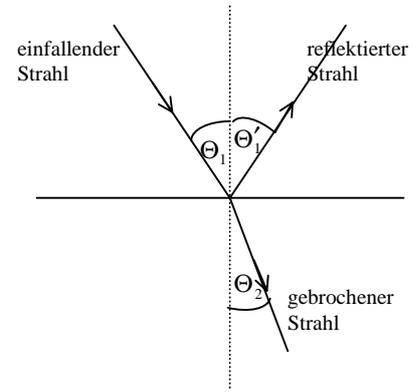
Bisher behandelten wir das Licht als elektromagnetische Welle → „Wellenoptik“. Das ist notwendig, wenn die Hindernisse im Lichtweg vergleichbar oder nur wenig größer sind als die verwendete Wellenlänge. Trifft Licht dagegen auf eine Oberfläche, die groß ist und deren Unebenheiten klein sind gegen die Wellenlänge, so können wir die Ausbreitung des Lichtes mit „Lichtstrahlen“ und geometrischen Gesetzen beschreiben → „Geometrische Optik“.<sup>1</sup>

#### **1. Reflexion**

Ein Lichtstrahl, der auf eine Wasseroberfläche trifft, wird sowohl reflektiert als auch gebrochen.

Das Experiment zeigt:

- i) Reflektierter und gebrochener Strahl liegen in derselben Ebene, die vom einfallenden Strahl und von Lot auf die Oberfläche am Auftreffpunkt aufgespannt wird.
- ii) Reflexion:  $\Theta_1 = \Theta'_1$ , d.h. Einfallswinkel = Reflexionswinkel.

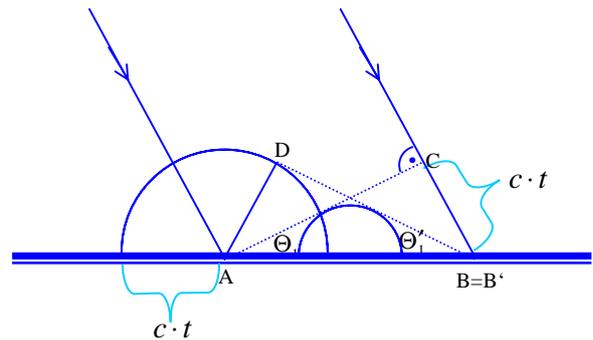


Plausible Erklärung mit dem Huygens'schen Prinzip<sup>1</sup>:

Zu einem gewissen Zeitpunkt lässt man von jedem Punkt einer gegebenen Wellenfront neue „Elementarwellen“ ausgehen. Zu einem späteren Zeitpunkt gibt die Einhüllende dieser Elementarwellen die neue Wellenfront.

Reflexion: Wegen  $\overline{AD} = \overline{CB}$ ,  
 $\overline{AB} = \overline{AB'}$  und  
 $\sphericalangle D = \sphericalangle C = 90^\circ$  ist  
 $\triangle ADB \cong \triangle ACB$

$$\Rightarrow \Theta_1 = \Theta'_1 \Rightarrow \text{Reflexionsgesetz}$$



Senkrechter Eintritt von Medium mit Brechungsindex  $n_1$  in ein Medium mit Brechungsindex  $n_2$ :

$$\text{Reflexionskoeffizient } R = \frac{I_{\text{refl}}}{I_{\text{einf}}} = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

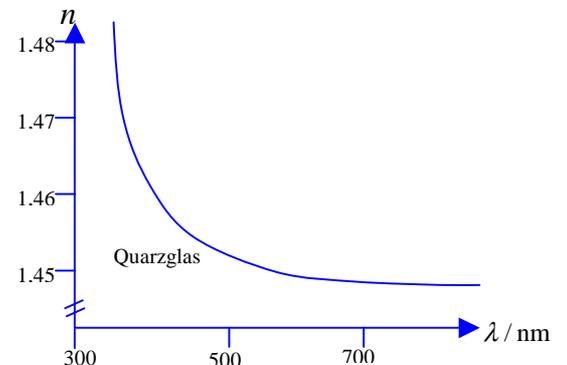
## 2. Brechung

iii) Brechung:

$$\frac{\sin \Theta_1}{\sin \Theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Snellius'sches Brechungsgesetz.

$n_i$  ist der „Brechungsindex“ des jeweiligen Mediums<sup>3</sup>  
 $n$  ist aber abhängig von der Wellenlänge  $\Rightarrow$  Spektrum<sup>4</sup>.



Bsp.: Ein Lichtstrahl enthält die beiden Wellenlängen 400 nm und 500 nm. Er fällt von Luft auf eine ebene Quarz-Oberfläche und schließt dabei mit der  $\perp$  einen Winkel von  $30^\circ$  ein. Der

Brechungsindex von Quarz relativ zu Luft ist  $\frac{n_Q}{n_L} = \left. \begin{matrix} 1.4702 \\ 1.4624 \end{matrix} \right\}$  für  $\left. \begin{matrix} 400 \text{ nm} \\ 500 \text{ nm} \end{matrix} \right\}$ . Welchen Winkel

schließen die gebrochenen Strahlen ein?

$$\sin \Theta_2 = \frac{\sin \Theta_1}{\frac{n_Q}{n_L}} \Rightarrow \Theta_2 = \left. \begin{matrix} 19.88^\circ \\ 19.99^\circ \end{matrix} \right\} \text{ für } \left. \begin{matrix} 400 \text{ nm} \\ 500 \text{ nm} \end{matrix} \right\} \Rightarrow \underline{\underline{\Delta \Theta_2 = 0.11^\circ}}$$

400 nm wird stärker gebrochen.

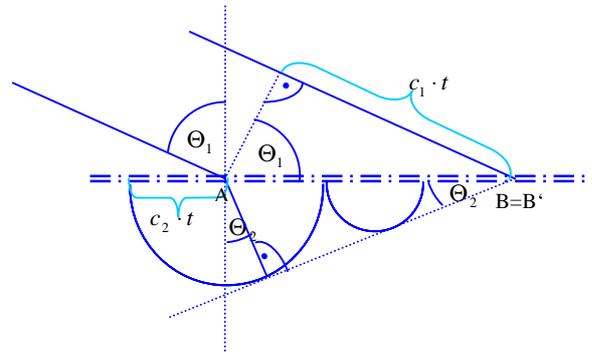
<sup>1</sup> 1678

<sup>2</sup> Aus Energieerhaltung und Stetigkeit der tangentialen el. Feldstärke an der Grenzfläche, s. Gerthsen S. 393.

<sup>3</sup> Vakuum:  $n = 1$ ; Luft:  $n = 1.0003$ , Wasser:  $n = 1.33$ , Glas:  $1.4 < n < 1.7$ . Für  $\lambda = 589 \text{ nm}$ .

<sup>4</sup> Das Reflexions- und das Brechungsgesetz gilt für gesamtes e.m. Spektrum.

Brechung:  $\sin \Theta_1 = \frac{c_1 t}{AB}$   
 $\sin \Theta_2 = \frac{c_2 t}{AB'}$   $\Rightarrow \frac{\sin \Theta_1}{\sin \Theta_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$   
 $\Rightarrow \boxed{c_i = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{n_i}}$ <sup>5</sup>



Fermat-Prinzip: Das Licht verläuft zwischen zwei Punkten A und B so, daß es dafür möglichst kurze Zeit braucht.

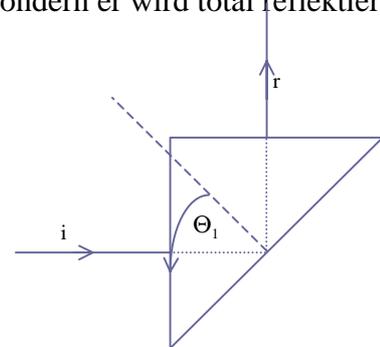
### Totalreflexion

Trifft ein Lichtstrahl von einem optisch dichteren Medium auf die Grenze zu einem optisch dünneren, so existiert ein kritischer Einfallswinkel  $\Theta_c$ , für den der Brechungswinkel  $\Theta_2 = 90^\circ$  ist. Für größere Einfallswinkel gibt es keinen gebrochenen Strahl, sondern er wird total reflektiert:

$$\boxed{\sin \Theta_c = \frac{n_2}{n_1}, \quad n_2 < n_1}$$

Bsp.: Ein Strahl fällt  $\perp$  in ein Glasprisma ein und wird unter  $\Theta_1 = 45^\circ$  total reflektiert. Was können Sie daraus über den Brechungsindex des Glases schließen?

$$\sin 45^\circ > \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n} \Rightarrow \underline{\underline{n > \frac{1}{\sin 45^\circ} = 1.41}}$$



### 3. Absorption

Beim Durchgang durch Materie wird Strahlung in andere Energieformen (vornehmlich Wärme) umgewandelt und dadurch folglich geschwächt. Dieser Vorgang heißt „Absorption“<sup>6</sup>. Die relative Abnahme der Intensität  $I$  ist dabei proportional zur Schichtdicke  $dx$ :

$$\frac{dI}{I} = -\alpha \cdot dx$$

Integration ergibt den Intensitätsverlauf in Abhängigkeit von der

$$\boxed{I(x) = I(0) \cdot e^{-\alpha x}} \quad \text{„Beer'sches Gesetz“}$$

$\alpha$  heißt „Absorptionskoeffizient“. Er ist eine Stoffkonstante und hat die Dimension  $\frac{1}{m}$ .

Die Wellenlängenabhängigkeit  $\alpha(\lambda)$  ist meist sehr kompliziert. Im Spektrum gibt es meist

- linienhafte Anteile: gebundene Ladungen werden in erzwungene Schwingungen versetzt, oder Hüllelektronen werden angeregt (je nach Energie der Photonen),
- kontinuierliche Anteile: quasifreie Elektronen (z.B. in Metallen) werden in Schwingungen versetzt und

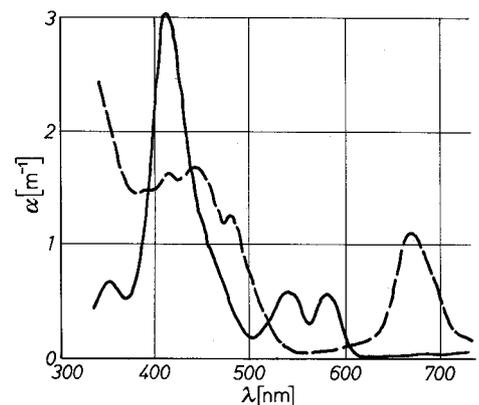


Abb. 10.63. Absorptionsspektren von zwei der für uns wichtigsten Substanzen: - - - Chlorophyll, — Hemoglobin (genauer: Chlorophyll a, Oxyhämoglobin vom Menschen). Daß Blätter grün und Blut rot (in sehr dünner Schicht gelb) sind, läßt sich daraus sofort ablesen. Ob und warum aber die Absorptionsmaxima so liegen müssen, ist beim Chlorophyll nur zum Teil und beim Hämoglobin so gut wie gar nicht bekannt

<sup>5</sup> Oder  $n_i = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_i}$ .

<sup>6</sup> Bei der „Streuung“ ändert die Strahlung nur ihre Ausbreitungsrichtung, bleibt aber Strahlung.

erzeugen somit einen Stromfluß, der durch den elektrischen Widerstand des Materials Wärme erzeugt.

---

<sup>i</sup> Es ist z.B. nicht möglich, einen einzelnen Lichtstrahl durch einen schmalen Schlitz auszublenden → Beugung, Wellenoptik!